

**МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
ФИЛИАЛ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА В ГОРОДЕ СЕВАСТОПОЛЕ
НЕПРАВИТЕЛЬСТВЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФОНД
ИМЕНИ В.И. ВЕРНАДСКОГО**

**Российская экологическая Академия
Крымское региональное отделение**

**Русское географическое общество
Севастопольское отделение**

**Институт географии РАН
Российской Федерации**



**НЕПРАВИТЕЛЬСТВЕННЫЙ
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФОНД
ИМЕНИ В.И. ВЕРНАДСКОГО**

МАТЕРИАЛЫ

I МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФОРУМ В КРЫМУ



**«Крым
эколого-экономический
регион. Пространство
ноосферного развития»**

при поддержке фонда
РФФИ (проект №
17-05-20261)



Г. СЕВАСТОПОЛЬ. 20 - 24 ИЮНЯ 2017 ГОДА

Литература

1. Зинько В.Н. Поротов А.В., Мысливец В.И. Развитие рельефа западного побережья Керченского полуострова в позднем голоцене. // Экологическая безопасность рибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельф. - Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. 2011.- Вып. 25, т.1. - с. 83-95.
2. Невесский Е.Н. К вопросу о новейшей Черноморской трансгрессии // Тр. Института океанологии АН СССР, 1958. - т. XXVIII. - С. 23-29.
3. Зинько В.Н. Хора античного города Нимфей//Боспорские исследования–Симферополь-Керчь, 2003. - т. IV. - 320 с.

УДК 574.58:546.798

ДАТИРОВКА ГЛУБОКОВОДНЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЧЁРНОГО МОРЯ С ПОМОЩЬЮ ИЗОТОПОВ ПЛУТОНИЯ

*Проскурнин В.Ю., Терещенко Н.Н., Гулин С.Б., Чужикова-Проскурнина О.Д.
ФГБУН «Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН»,
Севастополь, Россия*

Аннотация. Получены новые данные о распределении основных радиоизотопов плутония в глубоководных донных отложениях Чёрного моря. Произведена датировка донных отложений западной части котловины Чёрного моря с помощью изотопов $^{238,239,240}\text{Pu}$. Показано, что спустя 27 лет после аварии на ЧАЭС заглубление концентрационного пика плутония черновыльского происхождения достигло глубины осадка 3 см. Также установлено, что профили удельных активностей $^{239+240}\text{Pu}$, ^{238}Pu в верхних 5 см донных отложений в изучаемом районе в 2013 г. отражали историю поступления и депонирования плутония в Чёрном море за период с 1950-х до 2013 гг.

Ключевые слова: Чёрное море, изотопы плутония, датировка донных отложений, черновыльская авария, глобальные радиоактивные выпадения

DEEP BLACK SEA SEDIMENTS DATING BY MEANS OF PLUTONIUM ISOTOPES

*Proskurnin V.Yu., Tereshchenko N.N., Gulin S.B., Chuzhikova-Proskurnina O.D.
The A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of RAS, Sevastopol, Russia*

Abstract. The new data on major plutonium isotopes distribution in the deep Black Sea sediments was obtained. Dating of sediments sampled at the Black Sea west halistatic zone was carried out by means of $^{239+240}\text{Pu}$, ^{238}Pu isotopes. It was shown that 27 years after the Chernobyl accident resulted in the deepening of Chernobyl originated plutonium into the bottom sediment by 3 cm value of its thickness. The $^{239+240}\text{Pu}$, ^{238}Pu activities profiles in upper 5 cm of sediments from area studied in 2013 were found to represent the plutonium entry and deposition history in the Black Sea during the 1950s to 2013 period.

Kew words: the Black Sea, plutonium isotopes, bottom sediments dating, Chernobyl accident, global radioactive fallout

Введение. Основным источником поступления искусственной радиоактивности в Чёрное море являлись глобальные радиоактивные выпадения в результате испытания ядерного оружия в открытых средах (максимум выпадений пришёлся на первую половину 1960-х гг.). Вторым по значимости источником искусственных радионуклидов являлись атмосферные выпадения после аварии на Чернобыльской АЭС в апреле-мае 1986 г, а также поступление радионуклидов с речным стоком Днепра и Дуная в первые годы после

аварии. Оба упомянутых источника содержали широкий спектр продуктов распада и активации ядерных и конструкционных материалов, в том числе изотопы плутония ($^{238,239,240}\text{Pu}$, ^{241}Pu). Благодаря тому, что изотопная композиция плутония в различных источниках его поступления отличается весьма существенно, изотопы плутония считаются одними из наиболее информативных трассеров для датировки донных отложений. Это особенно актуально для Чёрного моря, где поступление плутония носило неравномерный характер со строгой локализацией во времени.

В то время как наиболее изученными в отношении плутония акваториями Чёрного моря являются прибрежные и шельфовые экосистемы [1, 5], в литературе имеются лишь эпизодические данные о содержании и распределении изотопов плутония в глубоководной части моря [5]. Тем не менее, более 60% площади моря приходится на глубины свыше 1500 м [3], а благодаря наличию сероводородной зоны и педотропному поведению плутония в водных экосистемах донные отложения глубоководной части Чёрного моря следует рассматривать как основное геологическое депо плутония в черноморском бассейне. Определение профилей удельных активностей изотопов плутония в донных осадках с последующей датировкой отложений является основанием для геохронологической реконструкции потоков этого поллютанта в донные отложения, что в свою очередь позволяет изучать способность моря к самоочищению и его экологическую ёмкость в отношении плутония. В постчернобыльский период датировка донных осадков котловины Чёрного моря по изотопам плутония не проводилась.

Целью исследования было проведение датировки донных осадков западной халистатической зоны Чёрного моря по результатам послойного анализа содержания ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$ в отложениях.

Материалы и методы. В настоящей работе использовали-пробы грунта, отобранные во время 33-ей экспедиции НИС «Maria S. Merian» (Германия) в ноябре-декабре 2013 г. в рамках украино-германского научного партнёрства. Колонки грунта отбирали прецизионным оборудованием – мультикорером, разработанным Институтом исследований Балтийского моря (IOW, Варнемюнде, Германия). Мультикорер позволял отбирать колонки поверхностного слоя грунта высотой до 70 см с сохранением стратификации даже лёгких сапропелевых илов с влажностью до 95%, характерных для котловины Чёрного моря. Колонки нарезали с помощью экструдера поворотной конструкции на слои толщиной 2,5 мм.

Радиоизотопы плутония определяли по методике разработанной НПО «Тайфун» для измерения активностей изотопов плутония в пробах окружающей среды [4], с учётом рекомендаций [2]. Пробы высушивали и озоляли при 500°C. В качестве трассера радиохимического выхода плутония добавляли известные количества изотопа ^{242}Pu , практически отсутствующего в изотопной композиции антропогенного плутония в исследуемой акватории. Проводили выщелачивание плутония концентрированной азотной кислотой с добавлением перекиси водорода, после чего производили двухступенчатое выделение и очистку плутония с использованием анионообменных смол. Изотопы ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$ определяли спектрометрическим методом с использованием полупроводникового альфа-спектрометра EG&G Ortec Octete PC. Препараты для альфа-спектрометрии готовили методом электроосаждения на диски из нержавеющей стали. Удельные активности определяемых изотопов пересчитывали на обессоленный вес осадка с учётом солёности придонного слоя воды.

Для датировки донных отложений использовался метод радиоизотопной геохронологической реконструкции загрязнения плутонием, суть которого заключается в изучении вертикального распределения отношения удельных активностей $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ в толще донных осадков. При расчёте скорости осадконакопления вносили поправку на гравитационное уплотнение осадка и таким образом, получали шкалу разуплотнённой толщины слоя донных отложений. Для расчёта скоростей седиментации взвешенного вещества использовалась шкала кумулятивного веса донных отложений.

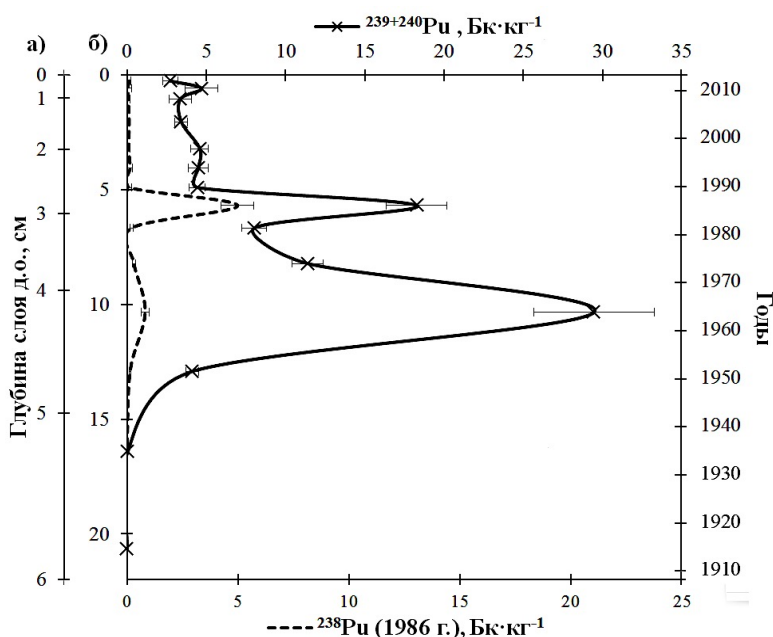
Результаты и обсуждение. Особенность режима поступления плутония в акваторию Чёрного моря заключается в строгой локализации периодов максимальных его выпадений на поверхность бассейна во времени на масштабе десятилетий, а также существенном различии отношений удельных активностей $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ в двух основных источниках его поступления. Так плутоний глобальных радиоактивных выпадений наиболее интенсивно поступал на поверхность Чёрного моря в период 1962-1963 гг., при этом отношение активностей $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ для широтного диапазона, приуроченного к исследуемой акватории, составляло 0,036 в 1971 г. [5]. В свою очередь плутоний чернобыльского происхождения поступал с чернобыльскими выпадениями в первые месяцы после аварии в 1986 году, а отношение активностей $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ в аварийном выбросе составляло величины 0,45-0,50 [5]. Таким образом, различие более чем на порядок величин отношения активностей $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ и расхождение во времени поступления из указанных источников более чем на два десятилетия даёт уникальную возможность определения скорости осадконакопления в до- и постчернобыльский периоды по глубинам залегания пиковых удельных активностей плутония в донных отложениях и величине отношения активностей этих изотопов в их профиле распределения.

Ранее было продемонстрировано [1] наличие плутония чернобыльского происхождения в поверхностных слоях донных отложений и его отсутствие в более глубоких слоях, содержащих лишь плутоний глобальных выпадений. В указанной работе изучалось вертикальное распределение изотопного отношения $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ в донных отложениях приустьевой зоны реки Дунай, где скорость осадконакопления составила $11,5 \text{ мм} \cdot \text{год}^{-1}$ при скорости седиментации взвешенного вещества $3994 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$. Такая высокая скорость осадконакопления сделала возможным заглубление плутония чернобыльского происхождения уже к 1997 году до глубины 13 см в толще донных отложений. Однако в глубоководной зоне моря, где по полученным ранее оценкам скорости осадконакопления составляют величины на уровне $\text{н} \cdot 10^{-1} \text{ мм} \cdot \text{год}^{-1}$ [1, 5], ожидаемая глубина залегания чернобыльского плутония была слишком мала, для того чтобы дифференцировать подповерхностный максимум удельных активностей определяемых изотопов.

В настоящем исследовании изучали вертикальное распределение удельных активностей $^{239+240}\text{Pu}$, ^{238}Pu и отношения активностей $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ в толще донных отложений отобранных в районе западного циклонического круговорота в котловине Чёрного моря в точке с координатами $43^\circ 31,824'$ с.ш. $32^\circ 28,088'$ в.д. Глубина водной толщи в исследуемом районе составила 2030 м. Исследуемые образцы донных осадков отбирали в ноябре 2013 года, т.е. через 27 лет после аварии на ЧАЭС, поэтому ожидаемая глубина залегания

плутония чернобыльского происхождения составляла десятки мм, а толщина анализируемых слоёв была выбрана равной 2,5 мм. Результаты проведённых измерений представлены на рис. 1.

Рисунок 1 – Вертикальное распределение удельных активностей $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{238}Pu в донных отложениях (д.о.) западной части котловины Чёрного моря, где: а) фактическая глубина залегания слоя д.о.; б) – рассчитанная глубина залегания слоя осадков при разуплотнённой их толщине



Было обнаружено два хорошо различимых максимума удельной активности $^{239,240}\text{Pu}$, один из которых был приурочен слою донных отложений 2,75-3,00 см, а другой – 4,0-4,5 см. Удельная активность $^{239+240}\text{Pu}$ в слое 2,75-3,00 см составила $18,3 \pm 1,9 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$, а отношение активностей $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu} = 0,34 \pm 0,06$, что позволяет охарактеризовать природу пиковой концентрации плутония в этом слое как обусловленную выпадениями чернобыльских радионуклидов. Доля плутония чернобыльского происхождения в этом слое достигла 70 %. Удельная активность $^{239+240}\text{Pu}$ в слое донных отложений 4,0-4,5 см равнялась $25,45 \pm 3,8 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$, при этом отношение $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ составило $0,035 \pm 0,009$. Сопоставление изотопных отношений $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$, определённых в профиле донных отложений, с величинами, характерными для основных источников плутония в Чёрном море, позволяет однозначно датировать слой 2,75-3,00 см 1986 годом, а слой 4,0-4,5 см – 1963 годом. Отношение активностей $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ во всех слоях ниже 3 см глубины отложений не превышало величину $0,035 \pm 0,010$, т.е. было характерным для плутония глобальных выпадений без примеси плутония чернобыльского происхождения. Это позволяет заключить, что донные отложения ниже глубины 3 см в 2013 году отражали историю поступления плутония в дочернобыльскую эпоху, тогда как верхние 3 см осадков сформировались после 1986 года включительно. Средняя концентрация $^{239+240}\text{Pu}$ в донных отложениях в дочернобыльский период оказалась значительно выше ($13 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$) чем таковая после 1986 г. включительно – $5,7 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$, что отражает спад потока плутония в донные отложения ввиду отсутствия значительных источников его поступления в акваторию Чёрного моря. Спад удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ в слое донных отложений ниже 5 см до величин сравнимых с пределом детектирования используемого метода ($0,02 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$) свидетельствует о том, что эти осадки сформированы до начала ядерной эры человечества, т.е. до начала поступления существенных количеств антропогенного плутония в окружающую среду – до 1950-х гг.

Скорость осадконакопления, рассчитанная как по чернобыльскому концентрационному пику плутония, так и по пику глобальных выпадений, составила $2,1 \text{ мм} \cdot \text{год}^{-1}$. Совпадение скоростей осадконакопления, рассчитанных по разным пикам плутония, указывает на отсутствие изменений в скорости осадконакопления в исследуемом регионе на масштабе 50 лет. Средняя скорость седиментации взвешенного вещества составила $62 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$. Величина скорости седиментации, определённая в настоящем исследовании, оказалась близкой к оценке, полученной ранее ($70 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ [1, 5]) с использованием профилей ^{137}Cs .

Заключение. По результатам проведённой датировки глубоководных донных отложений показано заглубление пика чернобыльского плутония до глубины осадка 3 см. Установлено, что верхние 3 см донных отложений в западной части котловины Чёрного моря сформированы за 27 лет с 1986 по 2013 гг, слой отложений с глубиной залегания 3 - 5 см сформировался за период с 1950-х до 1986 гг. Профили концентраций определяемых изотопов ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, отражают историю поступления плутония в акваторию Чёрного моря и потоков депонирования его в донные отложения в соответствующие временные интервалы.

Литература

1. Gulín S.B., Polikarpov G.G., Egorov V.N., Martin J.M., Korotkov A.A., Stokozov N.A. Radiactive Contamination of the North-western Black Sea Sediments // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. – 2002. - № 54. – P. 541-549.
2. Measurement of Radionuclides in Food and the Environment. Technical Report Series No. 295 / Vienna. – IAEA, 1989. – 182 p.
3. Гулин С.Б., Егоров В.Н., Мирзоева Н.Ю., Проскурнин В.Ю., Бей О.Н., Сидоров И.Г. Радиоёмкость кислородной и сероводородной зон Чёрного моря в отношении ^{90}Sr и ^{137}Cs // *Радиационная биология. Радиоэкология*. – 2017. – Том 57, № 2. – С. 191-200.

4. Методика измерений активности плутония-239,240,238 в пробах окружающей среды с радиохимическим концентрированием в ФГБУ «НПО «Тайфун». – № в Реестре методик радиационного контроля МВИ 1.4.7-15. – 2015. – 25 с.
5. Поликарпов Г.Г., Егоров В.Н. и др. Радиоэкологический отклик Черного моря на черномыльскую аварию. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2008.– 667 с.

УДК 910.3

ГЕОЭКОЛОГИЯ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ОКЕАНА И ЕЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Сафьянов Г.А.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
географический факультет*

Аннотация. В связи с усилением в последние десятилетия воздействия общества на береговую среду, при анализе последствий воздействия становится недостаточным подход, включающий лишь физические параметры береговой зоны океана, возникает необходимость геоэкологического (системного) подхода к берегам. Необходим переход к новой концепции преобразовательской деятельности человека на берегах, основой которой должно быть отношение к береговой зоне океана как к сфере многоцелевого использования, а в центре внимания должна находиться геосистема береговой зоны океана.

Abstract. Due to the increasing impact of society on the coastal environment in recent decades, an approach that includes only physical parameters of the coastal zone of the ocean becomes inadequate in analyzing the consequences of the impact, the need for a geoecological (systemic) approach to the shores arises. It is necessary to move to a new concept of human transfiguration on the shores, the basis of which should be the relation to the coastal zone of the ocean as a sphere of multi-purpose use, and the geosistem of the coastal zone of the ocean should be in the center of attention.

Во взаимодействии с береговой средой океанов человек действует как консумент высшего порядка, а в метаболическом отношении общество с производственной сферой выступает как мощный источник энергии и разнообразных веществ, включая крайне токсичные. В связи с усилением в последние десятилетия воздействия общества на береговую среду, при анализе последствий воздействия становится недостаточным подход, включающий лишь физические параметры береговой зоны океана, возникает необходимость геоэкологического (системного) подхода к берегам.

Устанавливается значимая корреляция между численностью видов макрофауны, а также их разнообразием, с одной стороны, и составом наносов и уклоном пляжа, с другой.

Обнаруживается тесная связь урожая рыб с объемом притока пресных вод для лагун и эстуариев.

Биопродукционное значение рельефа дна применительно к урожаю рыб статистически определено для всех глубин, начиная со средних глубин Мирового океана, отдельных относительно замкнутых акваторий морей, заканчивая эстуариями, лагунами и тамбаками.

Экспериментально показано далеко не тривиальная роль геоморфологических условий в бактериальных процессах. Теоретической основой для проведения антропогенных преобразований в береговой зоне моря в настоящее время служит представление о зависимости баланса наносов в ее пределах от соотношения интенсивности их поступления и потерь, то есть от чисто физических явлений, что представляется недостаточным.